



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK

## Hydrologiske og vandkemiske forudsætninger for en god naturtilstand i grundvandsafhængige terrestriske økosystemer

Ejrnæs, Rasmus; Andersen, Dagmar Kappel; Baattrup-Pedersen, Annette; Damgaard, Christian Frølund; Nygaard, Bettina; Dybkjær, John Bøhme; Christensen, Britt Stenhøj Baun; Nilsson, Bertel; Johansen, Ole

*Publication date:*  
2010

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Ejrnæs, R., Andersen, D. K., Baattrup-Pedersen, A., Damgaard, C. F., Nygaard, B., Dybkjær, J. B., Christensen, B. S. B., Nilsson, B., & Johansen, O., (2010). *Hydrologiske og vandkemiske forudsætninger for en god naturtilstand i grundvandsafhængige terrestriske økosystemer*, 30 s.

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



**Modtagere:**

**NOTAT**

**Styringsgrupperne for fagdatacentrene for  
grundvand, ferskvand og biodiversitet**

**By og Landskabsstyrelsen, Miljøovervå-  
ningssekretariatet**

**Angående: hydrologi, vandkemi og naturtilstand i de grundvands-  
afhængige terrestriske økosystemer**

DMU-AU:  
Rasmus Ejrnæs  
Dagmar kappel Andersen  
Annette Baattrup-Pedersen  
Christian Damgaard  
Bettina Nygaard  
John Bøhme Dybkjær

GEUS:  
Britt Stenhøj Christensen  
Bertel Nilsson

AAU:  
Ole Munch Johansen

Dato: 15. januar 2010

Side 1/30

## **Hydrologiske og vandkemiske forudsæt- ninger for en god naturtilstand i grund- vandsafhængige terrestriske økosystemer.**

### **Forord**

Nærværende notat beskriver resultaterne af et tværgående NOVANA-projekt. Først beskrives projektets faglige baggrund og formål. Dernæst beskrives og diskuteres resultaterne og endelig gennemgås projektets anbefalinger til det reviderede overvågningsprogram.

## Baggrund

Danmark har, i medfør af flere EU-direktiver, forpligtet sig til at sikre opretholdelse af en god tilstand af de grundvandsafhængige terrestriske økosystemer. Habitatdirektivet fra 1992 omfatter en række navngivne habitat-typer som forekommer på fugtig eller våd bund, herunder flere typer som indirekte eller direkte er påvirket af grundvand. Formålet med direktivet er at opnå gunstig bevaringsstatus og hydrologi og vandkemi har stor betydning for disse typers bevaringsstatus. Vandrammedirektivet fra 2000 målsætter, beskytter og forvalter vandøkosystemer, men også terrestriske økosystemer som er afhængige af disse. Eksempelvis defineres den tilgængelige grundvandsressource (for udnyttelse) i direktivet som den vandressource som kan udnyttes "uden væsentlig skadelig indvirkning på tilknyttede terrestriske økosystemer". Endelig er der grundvandsdirektivet fra 2006 som tager sigte på at beskytte grundvandsressourcen mod forurening med henblik på drikkevandskvaliteten og de grundvandsafhængige økosystemer (herunder de terrestriske). I direktivets bilag er fastsat grænseværdier for nitrat og pesticider, men det er også nævnt at der kan fastsættes strengere grænser hvis det er nødvendigt for at undgå væsentlig beskadigelse af terrestriske økosystemer, som er direkte afhængige af grundvandsforekomsten. Set i dette lys er der stort behov for at få et overblik over hvilke terrestriske naturtyper som er afhængige af grundvand og disse naturtypers følsomhed over for ændringer i mængden og kvaliteten af de grundvandsforekomster som de er knyttet til.

Tabel 1. *Mosetyper som er eller kan være afhængige af grundvand. Indirekte afhængighed hentyder til den potentielle betydning af en høj grundvandsstand under en i øvrigt regnvandsbetinget højmoser.*

| Naturtype                  | Undertype         | Grundvandsafhængighed |
|----------------------------|-------------------|-----------------------|
| Klitlavning (2190)         | Kalkrig undertype | Direkte               |
| Tidvis våd eng (6410)      | Kalkrig undertype | Direkte               |
| Højmoser (7110)            |                   | Indirekte             |
| Hængesæk (7140)            | Kalkrig undertype | Direkte               |
| Hvas avneknippemose (7210) |                   | Direkte               |
| Kildevæld (7220)           |                   | Direkte               |
| Rigkær (7230)              |                   | Direkte               |
| Elle- og askeskov (91E0)   |                   | Direkte               |
| Rørsump (§3)               | Åben type         | Direkte               |
| Våd eng (§3)               | Kalkrig undertype | Direkte               |

Tabel 1 viser hvilke terrestriske naturtyper som formodes at være afhængige af grundvand, enten direkte eller indirekte. Ved direkte forstås at naturtypen kun forekommer hvor det kalkrige, mineralrige og næringsfattige grundvand vælder frem eller trykkes ud/op i rodzonen. Dette gælder for rigkær (7230), kalkrigt kildevæld (7220) og hvas avneknippemose (7210). For nogle naturtyper gælder at visse undertyper både kan fore-

komme i en regnvandsbetinget undertype med lav pH og en grundvandsbetinget undertype ved høj pH. Dette gælder for tidvis våd eng (6410), hængesæk (7140) og fugtige klitlavninger (2190), hvor de kalkrige undertyper er direkte grundvandsbetinget. Endelig kan naturtyper som ikke påvirkes direkte af grundvandet, være afhængige af et højt grundvandsspejl, hvor en sænkning af grundvandsspejlet kan føre til ødelæggelse af forekomsten. Dette gælder for højmoser (7110), hvor selve vegetationslaget alene modtager regnvand (ombrotrofe). Selvom højmoser og rigkær findes i hver sin ende af en hydrologisk og vandkemisk gradient, har palæoekologiske studier vist at forandringer i det hydrologiske system eller i vandets strømningsveje kan føre til at højmoser udvikles spontant oven på gamle rigkær, eller rigkær udvikles inde i højmoser. Forandringen i naturtypen opstår hvis et udstrømningsområde som følge af ændret grundvandstryk eller hydraulisk ledningsevne pludselig ændrer sig til at blive et infiltrationsområde præget af regnvandets kemi, eller omvendt, at grundvandets strømningsveje fører til udstrømning i et område som før var ombrotroft. På trods af disse eksempler er rigkær ofte meget stabile og kan bestå i tusinder af år så længe de hydrologiske forudsætninger er til stede (Janssen 1972).

Vi har i dette projekt valgt at fokusere på rigkær fordi grundvandsafhængigheden er veldokumenteret og fordi de repræsenterer de relevante problemstillinger for kildevæld, hvas avneknippemose, fugtige klitlavninger, tidvis våd eng og hængesæk. Vi har dog også inddraget kildevæld i enkelte analyser fordi NOVANA-overvågningen af kildevæld har omfattet målinger af nitrat i vand fra naturtypen. I praksis vil der udvikles rigkærsvegetation omkring kildevæld med mindre grundvandet er næringsforuren.

### **Hydrologiske forudsætninger for rigkær**

Mens højmoser og fattigkær har været den fremherskende mosestype i den boreale zone, har rigkær oprindeligt været blandt de dominerende mose typer i den tempererede zone (Joosten & Clarke 2002, Grootjans et al. 2006). Rigkærsområder har været interessante områder at dræne og udnytte til dyrkning og omlægning med kulturgræsser. Desuden har grundvandsressourcen som skaber rigkær været under pres gennem dræning af infiltrationsområder, vandindvinding til drikkevand, markvanding og dambrug, og rigkær er i dag en sjælden naturtype. Rigkær kan findes i tilknytning til meget forskellige hydrologiske systemer, men vandstand, vandstandsfluktuationer, pH, basemætning og næringsstofindhold er overraskende ens de steder hvor rigkær findes (Grootjans et al. 2006). Således kan man finde rigkær i klitlavninger på sandet jord, i ådale på tørvejord og på bakkeskråninger hvor grundvandet trykkes frem. Fælles for rigkær er at de dannes på steder med gennemstrømmende grundvand, hvor geokemiske processer modvirker forsuring og reducerer tilgængeligheden af næringsstoffer i rodzonen. Grundvandets altafgørende rolle for dannel-

sen af rigkær kan også forklare hvorfor man af og til kan finde kalkelskende artsrig rigkærsvegetation omgivet af store strækninger med artsfattig kalkskyende hede- og mosevegetation. Karakteristisk for rigkær er endvidere en vandstand som udviser meget små fluktuationer sammenlignet med mosetyper som er afhængige af overfladevand eller regnvand. Ofte vil der være et lille, men mærkbart, fald i vandstanden i sommermånederne. Ofte vil den vandmættede zone ligge stabilt indenfor 10 cm fra overfladen af tørven (Boomer & Bedford 2008a).

### **Vandkemiske forudsætninger for rigkær**

Den stadige tilførsel af køligt, kalkrigt, iltfattigt og næringsfattigt grundvand er den afgørende forudsætning for rigkærets planter og dyr. Vandets høje indhold af calciumkarbonat modvirker forsuring og stabiliserer pH mellem 5,5 og 8 afhængig af balancen mellem regnvand og grundvand i rigkæret samt af grundvandets kalkindhold. Det iltfattige grundvand har et lavt indhold af plantetilgængeligt kvælstof og fosfor, men en høj basemætning baseret på indhold af magnesium, jern og kalk. Fosforbegrænsning synes at være et gennemgående træk for rigkær, og i særdeleshed for lokaliteter med truede plantearter (Wassen et al. 2005). Indholdet af calciumkarbonat og jern-ioner medvirker til at binde fosfor så det gøres utilgængeligt for planterne og her spiller jern tilsyneladende den største rolle (Boomer & Bedford 2008b, van der Welle et al. 2008). De iltfattige forhold i rodzonen medvirker til at mineraliseringen hæmmes. Resultatet bliver et lavproduktivt og artsrigt plantesamfund bestående af lave urter og mosser, med en langsom opbygning af et tørvelag.

### **Antropogene påvirkninger af hydrologi og vandkemi**

Både hydrologi og vandkemi har været og er stadigvæk under stærk antropogen påvirkning. Hele det hydrologiske kredsløb er stærkt modificeret ved dræning som afleder vandet overfladisk gennem dræn og grøfter i stedet for at lade det infiltrere til de dybe grundvandsmagasiner hvor det ville blive reduceret, afkølet og mættet med kalk, magnesium og jern og strømme ud af vældzonerne i ådale og kyster. Dette påvirker selvsagt mængden af grundvand i vældzonerne, men i høj grad også kvaliteten af vandet i de terrestriske vådområder, hvor næringsbelastet drænvand og overfladevand mange steder er den dominerende vandressource, hvilket fører til udviklingen af monotone højstaudesamfund af næringselskende flerårige græsser og høje bredbladede urter. Dertil kommer at udnyttelsen af ådalene til landbrug og dambrug også har medført en direkte dræning i ådalene, så også det fremvældende grundvand ledes væk i stedet for at si ve frem til vandløb, sø eller hav gennem den vandmættede tørv.

### **Udtørring**

Den udtørring som finder sted hvis grundvandstrykket falder i et rigkær vil forandre vegetationen fra en våd mose med udbredt forekomst af mos-

ser og specialiserede moseplanter til en mere eng-agtig vegetation, der er så tør at den kan bruges til græsning eller høslæt i sommerhalvåret. Selvom grundvandstrykket sænkes, kan vegetationen imidlertid godt vedblive at være artsrig, hvis afvandingen ikke har medført en samtidig eutrofiering (Grootjans et al. 2006). I bedste fald kan der udvikles kalkrige tidvist våde enge; artsrige, men uden en række af rigkærets typiske mos-arter, som ikke tåler udtørring (Mälson et al. 2007). Udtørringen indebærer dog også en risiko for forsuring og eutrofiering. Udtørringen kan føre til en iltning og mineralisering af tørv, hvilket leder til en frigivelse af næringsstoffer. En sådan frigivelse af næringsstoffer som allerede findes i tørv, men utilgængeligt for planterne, kaldes "intern eutrofiering" (Lamers et al. 2006). Risikoen for dette er stor hvis økosystemet har fået tilført næringsstoffer med grundvand eller overfladevand, som har været immobiliseret i den iltfrie vandmættede tørv (Lamers et al. 2006). Afvanding kan også medføre en forøget indblanding af udefrakommende næringsbelastet overfladevand i kærområdet, hvis området ændres fra udstrømningsområde til infiltrationsområde for overfladevand. Eutrofiering forårsaget af ude fra kommende næringsstoffer kaldes "ekstern eutrofiering", og næringsstofferne kan her komme fra eksempelvis direkte gødskning, markdræn eller vandløbsoversvømmelse. Endelig kan en vandtrykssænkning i rigkæret medføre en forsuring, når balancen mellem kalkrigt grundvand og regnvand forskydes. Dette kan medføre øget vækst af tørvemosser som i sig selv kan forsure miljøet yderligere og fortrænge den karakteristiske rigkærsmosflora (Mälson et al. 2006, Kooijmann & Paulissen 2006).

### **Ændring af vandkemi**

Menneskets arealudnyttelse har forandret den kemiske sammensætning af både regnvand, overfladevand og grundvand. Regnvandet indeholder stærkt forøgede kvælstofmængder, overfladevandet indeholder stærkt forøgede mængder af sulfat, nitrat/ammonium og fosfat og grundvandet indeholder forhøjede niveauer af nitrat. Endvidere er der fundet pesticidrester i grundvand og overfladevand, ja selv i regnvand (Lewan et al, 2009). Tilførsel af kvælstof og fosfor med vandet medfører ekstern eutrofiering i rigkær. Kvælstof vil under de rette betingelser kunne denitrificeres i den anaerobe vandmættede tørv og fosfor vil kunne immobiliseres ved binding til jern eller calcium. Sulfatbelastning kan medføre forsuring, en frigivelse af jernbundet fosfor samt en omdannelse til fyto-toxisk sulfid (van der Welle et al. 2008). De kemiske processer i tørv er imidlertid uhyre komplicerede, og effekterne af en tilførsel af kvælstof, fosfor eller sulfat afhænger af de hydrologiske og vandkemiske forhold i veldområdet og kan være vanskelige at forudsige. Eksempelvis kan reduktionen af tilført nitrat medføre en oxidation af jernsulfid og frigivelse af sulfat og plantetilgængeligt fosfor i kraft af de interne omdannelser i tørv (Lamers et al. 2006, van der Welle et al. 2008). I sulfatrige tørvejorde i landbrugsintensive områder, kan nitratforurening og denitrifikation være den væsentligste kilde til sulfatdannelse og efterfølgende intern eutrofiering ved frigi-

velse af jernbundet fosfor (van der Welle et al. 2008, Boomer & Bedford 2008b). Den interne eutrofiering vil forøges ved pH-fald som følge af ned-sat udstrømning af grundvand (Boomer & Bedford 2008b).

### **Andre væsentlige påvirkninger af rigkær**

De mest artsrige rigkær er lysåbne og i mange tilfælde kræves der en tilbagevendende forstyrrelse i form af græsning eller høslæt for at forhindre en tilgroning med vedplanter som pil eller el der tåler en høj vandstand og vandbevægelse. Ved stærk udstrømning af grundvand kan rigkær være naturligt lysåbne, men mange områder er i dag hydrologisk modificerede eller påvirkede af næringsstoffer i en grad hvor græsning eller høslæt er en forudsætning for deres opretholdelse. Græsning og høslæt medvirker også til at holde potentielt dominerende konkurrenceplanter i skak, og således kan et artsrigt rigkær hvor græsningen ophører med tiden udvikle sig til rørsump med tagrør eller hvas avneknippe eller et samfund af høje bred-bladede urter. Hvis området har en naturlig hydrologi og vandkemi, vil det dog typisk være så næringsfattigt at de høje urter aldrig opnår fuld dominans. Græsning opfattes som en del af de naturlige forudsætninger for rigkær, ligesom en naturlig hydrologi og vandkemi, men græsningen i landskabet er ligesom de øvrige forudsætninger stærkt antropogent påvirket i kraft af udryddelsen af de naturlige græsædere og den faldende efterspørgsel efter naturområder som foderressource i det moderne landbrug.

### **Tærskelværdier for hydrologi og vandkemi**

Alle tre EU-direktiver lægger op til udviklingen af kriterier eller grænseværdier for de grundvandsafhængige terrestriske økosystemer. Habitatdirektivet i form af kriterier for gunstig bevaringsstatus (struktur og funktion samt indikatorarter) og vanddirektiverne i form af grænseværdier for en god økologisk tilstand. Hvad hydrologi og vandkemi angår, er det oplagt at fokusere på mængden af grundvand i rigkærsforekomsterne, opblandingen af grundvand med overfladevand samt vandets indhold af næringssalte og miljøfremmede stoffer.

Det nærmeste vi er kommet danske kriterier for hydrologi og vandkemi er rapporten om kriterier for gunstig bevaringsstatus (Søgaard et al. 2003), som sætter som kriterium at indholdet af nitrat-N skal være indenfor den forventede variationsbredde for naturtypen i Danmark og desuden stabilt eller i bedring. Et niveau på under 0.03 mg N/liter vand er foreslået. Dette kriterium underbygges dog ikke af data indsamlet i NOVANA for kildevæld og hængesæk, som især for de grundvandsbetingede kildevæld udviser væsentligt højere værdier, selv for kildevæld i en god naturtilstand. Data viser godt nok en signifikant negativ sammenhæng mellem nitratindholdet i vandet og den biologiske tilstand, men underbygger ikke et fast kriterium, eftersom sammenhængen ikke er entydig (Goldberg et al. 2008). Et af de iboende problemer ved NOVANA-data fra kildevæld er dog at nitratmålingerne udelukkende er foretaget i sommerperioden, hvil-



ket er utilstrækkeligt til at belyse effekter af tilførsel af overfladevand i forbindelse med udvaskningshændelser i oplandet. På trods af stor variation i de målte koncentrationer af nitrat i kildevæld, tyder NOVANA-data dog på at 0,03 mg/l NO<sub>3</sub>-N er et urealistisk lavt kriterium og at den gode tilstand snarere findes ved nitrat-N indhold på <1-3 mg/l.

### **VVM, naturplaner og vandplaner**

Som led i implementeringen af EU's direktiver skal der gennemføres en beskyttelse og målrettet forvaltning af såvel grundvandsressourcen som de grundvandsafhængige økosystemer. Dette vil bl.a. foregå ved udarbejdelse af vand- og naturplaner, konkrete indsatsplaner og VVM-vurderinger af miljøeffekter ved vandindvinding. For at kunne implementere direktiverne er det derfor nødvendigt at bygge på en fagligt velunderbygget forståelse af økosystemernes afhængighed af hydrologi og vandkemi og af effekterne på antropogene påvirkninger af grundvandsressourcen.

### **Projektets formål**

På denne baggrund besluttedes det at gennemføre et tværgående økohydrologiprojekt mellem relevante aktører i NOVANA. Projektgruppen inkluderede DMU-afdelinger med ansvar for delprogrammer for overvågning af natur og overfladevand samt GEUS med ansvar for overvågning af grundvand.

Projektets formål var følgende:

- 1) at undersøge og beskrive hvordan data fra grundvands-overvågning, herunder regionale og lokale modeller for det hydrologiske kredsløb, kan anvendes som forklaringsvariable for tilstanden og udviklingen af naturtilstanden i højmoser, lavmoser og kilder omfattet af Habitatdirektivet.
- 2) at undersøge og beskrive hvordan indsamlingen af data i de tre omfattede NOVANA-delprogrammer kan optimeres med henblik på at opnå størst mulig synergi i beskrivelsen af det hydrologiske kredsløb og dets betydning for tilstand og udvikling af Habitatdirektivets naturtyper.

I projektet blev der som beskrevet ovenfor sat særlig fokus på rigkær som en sårbar og repræsentativ naturtyper for beskrivelsen af de hydrologiske og vandkemiske forudsætninger for grundvandsafhængige terrestriske økosystemer. Det blev tidligt klart at der ikke i de eksisterende NOVANA-data findes sammenhørende detaljerede hydrologiske målinger eller modeller og detaljerede målinger af naturtilstand i tilknyttede rigkær og kildevæld, og vi har derfor ikke haft mulighed for at koble natur og grundvandsmodellering på lokal skala.





Det har under projektets forløb vist sig at den måske allervigtigste funktion af projektet har været at skabe et forum for videnskabelig udveksling mellem fagområder som ikke tidligere har samarbejdet om naturtilstanden i terrestriske vådområder. Et fortsat samarbejde vurderes som en forudsætning for at opnå den nødvendige vidensbasis for en omkostningseffektiv beskyttelse og forvaltning af de grundvandsafhængige terrestriske økosystemer.

### **Delprojekter**

I løbet af projektet blev der identificeret følgende delprojekter til opfyldelse af projektets formål:

- 1) Beskrivelse af rigkærs naturtilstand ud fra vegetationens sammensætning
- 2) Supplerende indsamling af data om hydrologi og vandkemi fra reference-rigkær, eutrofierede vådområder og kærømråder i overgangszonen mellem disse.
- 3) Undersøgelse af sammenhængen mellem naturtilstand i rigkær og vandindvinding på Sjælland modelleret ved hjælp af DK-modellen.
- 4) Geografisk baseret analyse af rigkærenes forekomst i ådalssystemer baseret på en kobling af data fra vandløbsovervågningen, oplandsbeskrivelser og ådalstypologi.

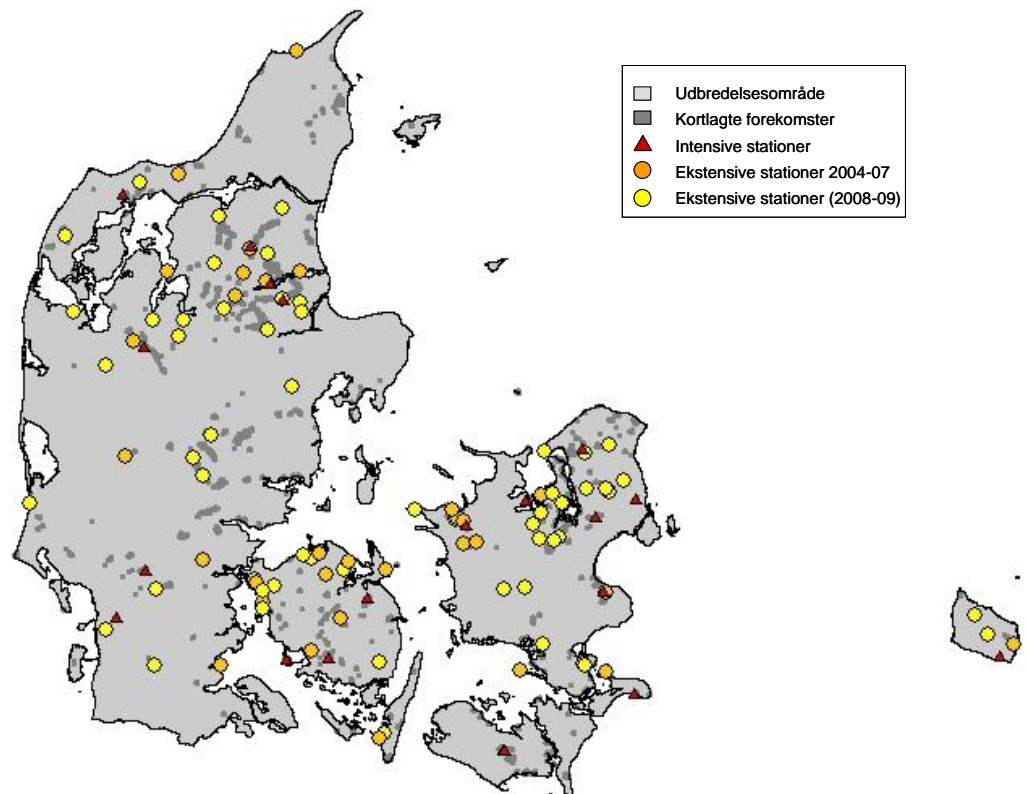
## Metoder og resultater

I analyserne af rigkærsdata har vi anvendt en klassifikationsmodel til ud fra artssammensætningen at adskille egentlige rigkær fra vådbundsvegetation som enten aldrig har været rigkær grundet manglende grundvandspåvirkning eller hvor eutrofieringen og/eller afvanding har medført at vegetationen har ændret sig til våde enge, fugtige enge, kulturrenge eller urtebræmmer (Nygaard et al. 2009). Desuden har vi anvendt indikatorbaserede metoder til at vurdere tilstanden af rigkærene. Her har vi dels anvendt en liste over indikatorarter for gode rigkær (Tabel 2) og dels anvendt Ellenbergs indikatorværdier for fugtighed/vandstand (F), reaktionstal ( $R = pH$ ) og næringsstoftilgængelighed (N) (Ejrnæs et al. 2009).

Tabel 2. Indikatorarter for velfungerende rigkær. Øverst karplanter, nederst mosser.

| Dansk navn                | Latinsk navn                         |
|---------------------------|--------------------------------------|
| Hjertegræs                | Briza media                          |
| tvebo star                | Carex dioica                         |
| skede-star                | Carex hostiana                       |
| krognæb-star              | Carex lepidocarpa                    |
| Alm. star                 | Carex nigra                          |
| loppe-star                | Carex pulicaris                      |
| dværg-star, kompleks      | Carex viridula s.l.                  |
| kødfarvet gøgeurt         | Dactylorhiza incarnata               |
| fåblomstret kogleaks      | Eleocharis quinqueflora              |
| sump-hullæbe              | Epipactis palustris                  |
| smalbladet kæruld         | Eriophorum angustifolium             |
| Mygblomst                 | Liparis loeselii                     |
| Bukkeblad                 | Menyanthes trifoliata                |
| Leverurt                  | Parnassia palustris                  |
| eng-troldurt              | Pedicularis palustris ssp. palustris |
| Vibefedt                  | Pinguicula vulgaris                  |
| Tormentil                 | Potentilla erecta                    |
| Djævelsbid                | Succisa pratensis                    |
| tvebo baldrian            | Valeriana dioica                     |
| nedløbende bryum          | Bryum pseudotriquetrum               |
| fin guldstjernemos        | Campylium protensum                  |
| almindelig guldstjernemos | Campylium stellatum                  |
| kalk-blødmos              | Ctenidium molluscum                  |
| kær-kløvtand              | Dicranum bonjeanii                   |
| kær-rademos               | Fissidens adianthoides               |
| grøn krumblad             | Limprichtia cossonii                 |
| glinsende kærmos          | Tomentypnum nitens                   |

Ved at anvende Ellenbergs indikator tal som gennemsnit af de arter som forekommer i et område, typisk en cirkel med radius på 5 meter, opnås et udtryk for miljøet på voksestedet (Ejrnæs et al. 2009). Når det gælder næringsstofforureningen er det dog ikke nok at anvende Ellenbergs tal for næringstilgængelighed fordi dette tal varierer naturligt med pH, således at arter som foretrækker højere pH alt andet lige også vil have højere Ellenberg N-tal. I stedet har vi anvendt Ellenberg N divideret med Ellenberg R, et indeks vi kalder næringsratio (se også Ejrnæs et al. 2009). Antallet af indikatorarter stiger jo lavere næringsratioen er Næringsratioen (Ejrnæs et al. 2009). Næsten alle rigkær med mange indikatorarter har en næringsratio under 0,7, og rigkær med en næringsratio over 0,9 har sjældent nogle indikatorarter.



Figur 1. Kortlagte og overvågede rigkær i Danmark. Farvede symboler viser overvågningsstationer (NOVANAs terrestriske delprogram), grå markeringer viser kortlagte rigkær indenfor Natura 2000 områderne. Fra Ejrnæs et al. 2009.

### Placeringen af rigkær i landskabet

Rigkær forekommer fortrinsvis, men ikke udelukkende nord og øst for israndslinien (fig. 1). Kortet viser kun en kortlægning af rigkær inde i habitatområderne, men giver alligevel et indtryk af de danske forekomster. Placeringen i landskabet betinges af udstømmende grundvand og rigkær findes derfor oftest lavt i terrænet, i ådale og kystområder.

Vi har i projektet koblet data fra NOVANA-overvågningen af vandløbsnære arealer (delprogram for ferskvand) og deres oplande i et GIS for at undersøge betingelserne for forekomst af rigkær i ådalene. Vegetationsundersøgelser blev foretaget i 2004 og 2005 på 454 vandløbsnære arealer (afgrænset som et område 100 m langs vandløbet og 30 ind på det tilliggende areal). Arealerne er repræsentative for den del af de vandløbsnære arealer i Danmark der ikke er i omdrift eller med vedvarende græs. Undersøgelserne blev foretaget på begge sider af vandløbet indenfor et areal på 2x300 m i plots på 10x10m. På nogle arealer var der veje, marker eller andet der bevirkede at færre end 30 plots blev udlagt. I alt blev vegetationsundersøgelser foretaget i 21.401 plots. Vegetationsdata blev efterfølgende klassificeret til de mest sandsynlige plantesamfund (Nygaard et al. 2009). Resultatet af klassifikationen vises i tabel 3.

Tabel 3. *Oversigt over hyppighed og sårbarhed af naturtyper på 454 repræsentative vandløbsnære arealer i Danmark som ikke er med vedvarende græs eller i omdrift. 1) angiver at naturtypen er omfattet af Habitattdirektivet (habitattypekoden er vist efter samfundets navn). Plantesamfundenes sårbarhed overfor ændringer i miljøet er angivet:*

*\*\*\*\*\*=ekstremt sårbar, \*\*\*\*=sårbar, \*\*\*=moderat sårbar, \*\*=robust og \*=meget robust (efter Nygaard et al. 2009).*

| Naturtyper                            | Hyppighed<br>i % | Sårbarhed<br>i % |
|---------------------------------------|------------------|------------------|
| Kultureng                             | 17               | *                |
| Næringsrig højstaude                  | 16               | *                |
| Fugtig eng                            | 12               | **               |
| Fugtig brakmark                       | 11               | *                |
| Tør brakmark                          | 10               | *                |
| Urtebrømme <sup>1</sup> (HD 6430)     | 9                | Ukendt           |
| Våd eng                               | 9                | ***              |
| Rigkær <sup>1</sup> (HD 7230)         | 8                | *****            |
| Sumpet brømme                         | 3                | *                |
| Tidvis våd eng <sup>1</sup> (HD 6410) | 3                | ****             |
| Å-mudderbanke <sup>1</sup> (HD 3270)  | <1               | Ukendt           |
| Våd hede <sup>1</sup> (HD 4010)       | <1               | ****             |
| Hængesæk <sup>1</sup> (HD 7140)       | <1               | ****             |
| Avneknippemose <sup>1</sup> (HD 7210) | <1               | ****             |
| Fattigkær                             | <1               | ****             |

Selvom blot 8% af de 21.400 prøvefelter blev klassificeret til rigkær, forekom naturtypen på 29% af de 454 repræsentative vandløbsnære arealer. Efterfølgende blev der lavet en logistisk regressionsmodel med det formål at forudsige forekomsten af rigkær på vandløbsstrækningen ud fra karakteristika i oplandet til vandløbsstrækningen, herunder oplandsstørrelse, geologisk udgangsmateriale, arealanvendelse, andel af lavbundslande samt afvandingen i oplandet. Vi har valgt denne tilgang fordi aktiviteter i oplandet enten direkte ved at påvirke mængde og kvalitet af det grundvand der strømmer til eller indirekte via oversvømmelsesvand fra vandløbet kan have indflydelse på vegetationen på det vandløbsnære areal.

Der blev opstillet modeller baseret på informationer indenfor hele oplandet samt indenfor zonerne 500 m, 100 m og 50 m fra vandløbet. Ligeledes blev der opstillet en model hvor kun informationer indenfor et 100 x 100 m område umiddelbart opstrøms stationen blev medtaget. Endelig blev der opstillet en model ved udvælgelse af de parametre der, uafhængigt af skala, gav den bedste forudsigelse (Tabel 4).

*Tabel 4. Resultat af logistisk regressionsanalyse. Parametre blev fundet med anvendelse af forward selektion. Tabellen viser en oversigt over de betydende parametre i modellen rangordnet efter faldende signifikans. Den globale model omfatter alle stationer mens subset modellen bygger på en tilfældig delmængde af stationer. Andelen af korrekt klassificerede rigkær er angivet i procent. Subset modellen blev krydsvalideret på den delmængde af stationer der ikke var medtaget i modeludviklingen. Et negativt estimat angiver en positiv indvirkning på forekomst af rigkær mens et positivt estimat angiver en negativ indvirkning på forekomst af naturtypen rigkær, hvilket er angivet i parentes efter estimatværdien.*

| Parameter  | Estimat     | SE     | X <sup>2</sup> | P        |
|--|-------------|--------|----------------|----------|
| Afvanding_opland   | 0,0462 (-)  | 0,0103 | 20,14          | P<0,0001 |
| Våd åben natur_opstrøms areal  | -0,0441 (+) | 0,0131 | 11,26          | P=0,0008 |
| Lavbundslande_50 m zone  | -0,0204 (+) | 0,0064 | 10,06          | P=0,0015 |
| Befæstet_opland  | 0,0850 (-)  | 0,0304 | 7,81           | P=0,0052 |
| Omdrift_opstrøms areal   | 0,0134 (-)  | 0,0049 | 7,42           | P=0,0064 |
| Våd åbne natur_opland  | 0,35670 (-) | 0,1512 | 5,57           | P=0,0183 |
| Omdrift_100 m zone   | 0,0153 (-)  | 0,0070 | 4,75           | P=0,0293 |
| Global model (n=404) X <sup>2</sup> =153, p<0,0001; r <sup>2</sup> =0,66       |             |        |                |          |
| Subset model (n=227) X <sup>2</sup> =76, p<0,0001; korrekt klassificerede: 67% |             |        |                |          |

Vi kan ved hjælp af oplandskarakteristika med 67% sandsynlighed prædiktere forekomst af rigkær på vandløbsnære arealer i Danmark. De signifikante parametre peger tydeligt på at både oplandsrelaterede forhold samt mere lo-

kale forhold spiller en rolle for hvor der findes rigkær i Danmark (tabel 4). Det er interessant at det er afvandingen i hele oplandet, og ikke kun det nære opland i fx 50, 100 eller 500 m zoner, der identificeres som den vigtigste parameter i modellen. Det afspejler formentlig at den mængde vand der strømmer til det vandløbsnære areal er væsentlig mindre når hele oplandet drænes og at denne reduktion er afgørende for at grundvandstilstrømning og strømningsmønstre på det vandløbsnære areal ændres således at betingelserne for forekomst af rigkær bliver ringere.

Modellen identificerer kun to parametre der har positiv indflydelse på sandsynligheden for at finde rigkær på det vandløbsnære areal nemlig andelen af lavbundsjord i det nære opland (50 m) samt andelen af våd natur umiddelbart opstrøms det vandløbsnære areal. Sandsynligheden for at finde rigkær øges altså når der er meget natur i nærheden. Høj tæthed af natur og lavbundsjord peger på at de hydrologiske forudsætninger er til stede og at området ikke er taget i intensiv landbrugskultur. Tilsvarende kan den negative betydning af omdrift både opstrøms og i det nære opland (100 m) indikere at næringsstoffer og måske pesticider er medvirkende til at ændre kårfaktorerne på det vandløbsnære areal så de ikke længere kan understøtte forekomst af rigkær.

### **Supplerende dataindsamling**

Den supplerende dataindsamling blev foretaget på 18 stationer: 15 ekstensive stationer hvor der blev målt vandstand i april og august og indsamlet vandprøver til måling af pH, nitrat, ammonium og fosfat samt tre intensive stationer hvor der blev taget prøver til vandkemi i juli 2008 og opsat dataloggere til vandstandsmålinger (fig 2).

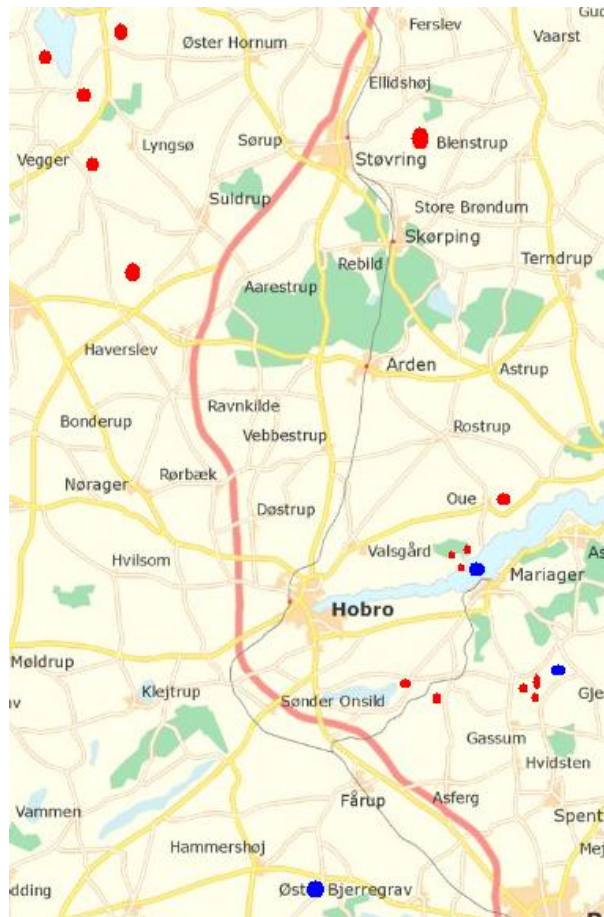


Fig 2. Placeringen af intensive (blå) og ekstensive målestationer (røde) i økohydrologiprojektet

De 18 stationer blev udvalgt med det formål at beskrive hydrologiske og vandkemiske forskelle mellem velfungerende rigkær på den ene side og mosevegetation med aftagende grundvandspåvirkning og/eller markant eutrofiering på den anden. Eftersom de velfungerende rigkær er langt sjældnere blev stationerne udvalgt ved at foretage en screening af samtlige dokumenterede rigkær fra NOVANA's naturtypeovervågning og DEVANO's naturtypekortlægning i habitatområderne. Ved screeningen udvalgte vi prøvefelter (5m-cirkler) fra våd bund med en næringsratio under 0,7 samt en vegetation som svarede til rigkær i moseklassifikationsmodellen. Endvidere indgik praktiske overvejelser om tilgængelighed og logistik, herunder køretid og tilladelse fra lodsejer. Bruttolisten over områder viste en særlig høj koncentration af de gode rigkær nord for Århus, særligt syd for Mariager Fjord samt i Østthimmerland mellem Mariager Fjord og Limfjorden. Stationerne endte også med at blive placeret i dette område. På hver lokalitet blev der, baseret på vegetationens sammensætning, foretaget en subjektiv afgrænsning af rigkærets udstrækning og etableret prøveagtning i rigkærets centrum, rigkærets periferi, samt i et vådt næringsbelastet område udenfor rigkæret. Tabel 5 viser de udvalgte lokaliteter og



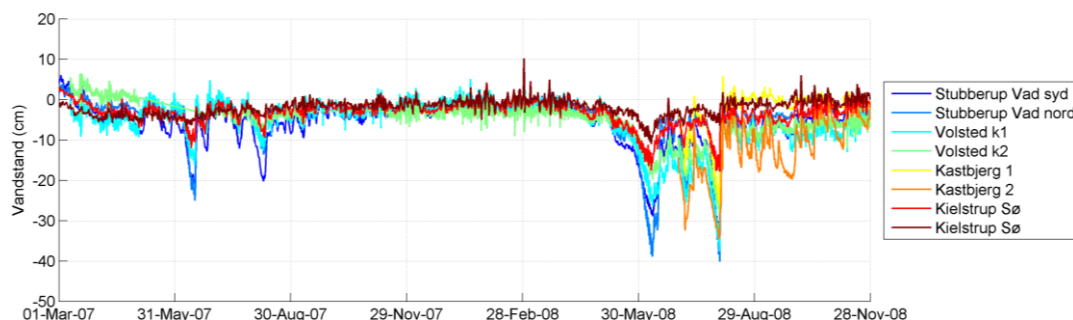
den gennemsnitlige næringsratio for centrum, periferi og næringsbelastet område.

Tabel 5. De 18 stationer med gennemsnitlig næringsratio fra vegetationen i 5m-cirkler i de tre forskellige prøvetagningszoner.

|                               | Næringsbelastet | Periferi | Centrum |
|-------------------------------|-----------------|----------|---------|
| Dyrby Krat                    | 0.94            | 0.75     | 0.66    |
| Glenstrup Sø                  | 0.83            | 0.81     | 0.78    |
| Halkær Bredning               | 0.97            | 0.78     | 0.65    |
| Halkær Sø                     | 0.9             | 0.74     | 0.65    |
| Kastbjerg Å "lav"             | 0.89            | 0.8      | 0.78    |
| Kielstrup Sø, "pilekrat-kant" | 0.82            | 0.75     | 0.71    |
| Kielstrup Sø Nord             | 0.84            | 0.72     | 0.66    |
| Kielstrup Sø "pilekrat"       | 0.82            | 0.73     | 0.7     |
| Klæstruplund                  | 0.94            | 0.78     | 0.7     |
| Lambækdal                     |                 | 0.77     | 0.67    |
| Mosbæk                        | 0.88            | 0.82     | 0.7     |
| Oue                           | 0.88            | 0.74     | 0.71    |
| True                          | 0.98            | 0.76     | 0.65    |
| Vegger                        | 0.91            | 0.76     | 0.74    |
| Volsted                       | 0.86            | 0.77     | 0.71    |
| Kastbjerg "intensiv"          | 0.80            | 1.04     | 0.68    |
| Kielstrup Sø "intensiv"       | 1.02            | 0.75     | 0.69    |
| Læsten "intensiv"             | 1.01            | 0.82     | 0.83    |

### Hydrologisk karakterisering af rigkær

Rigkær er karakteriseret ved en konstant udstømning af grundvand og derfor også ved en relativ konstant vandstand i kontakt med overfladen af tørven det meste af året - undtaget sommermånederne, hvor der kan ses en større eller mindre sænkning. Vi har i økohydrologiprojektet haft vandstandsloggere på fire stationer, og vi har i nedenstående figur 3 suppleret disse med loggere på to NOVANA-overvågningsstationer. Figuren viser at rigkærene har en meget stabil vandstand tre fjerdedele af året, men i sommermånederne juni-august, kan der optræde større eller mindre sænkninger af vandstanden, typisk med blot 10 cm, men i visse tilfælde op til 40 cm. Sammenlignet hermed vil vandstanden fluktuere langt mere, og typisk gennem hele året, i mosetyper som domineres af tilstrømmende overfladevand eller regnvand.

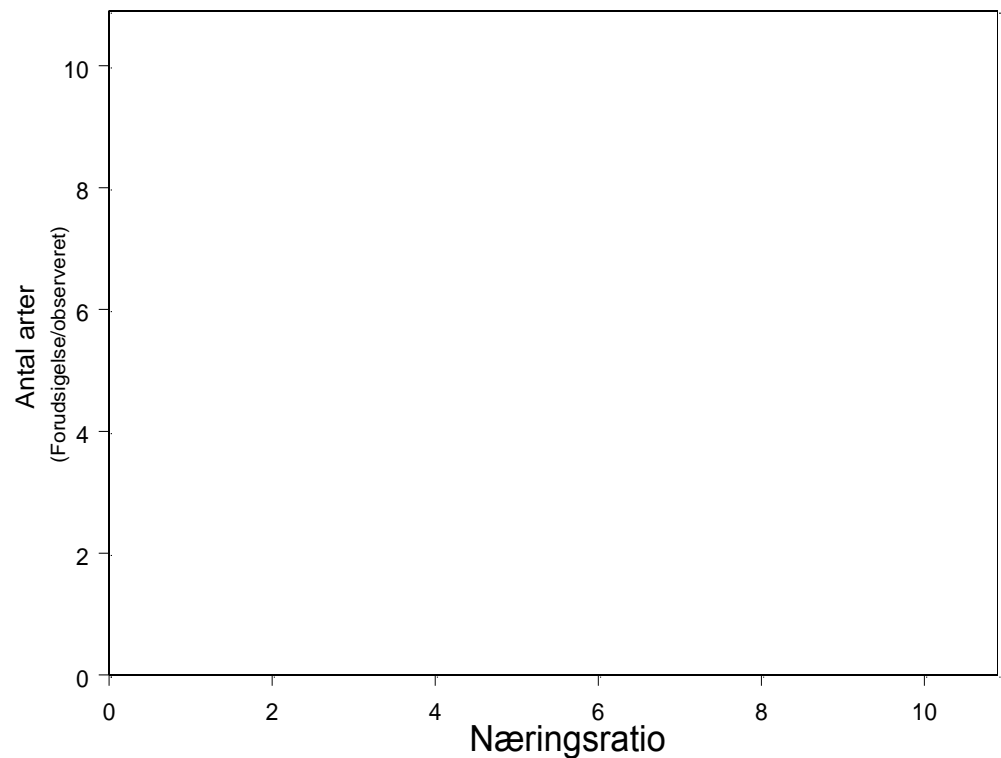


Figur 3. Vandstandsfluktuationer fra 8 rigkærslokaliteter med vandstandsloggere.

Der er ikke foretaget en kortlægning og hydrologisk modellering af stationerne i økohydrologiprojektet og i NOVANA, men det er en nærliggende hypotese at forskellen mellem lokaliteterne i figuren kan afspejle lokalitetsspecifikke kontaktforhold til det omgivende grundvandsmagasin og overfladevandssystemer.

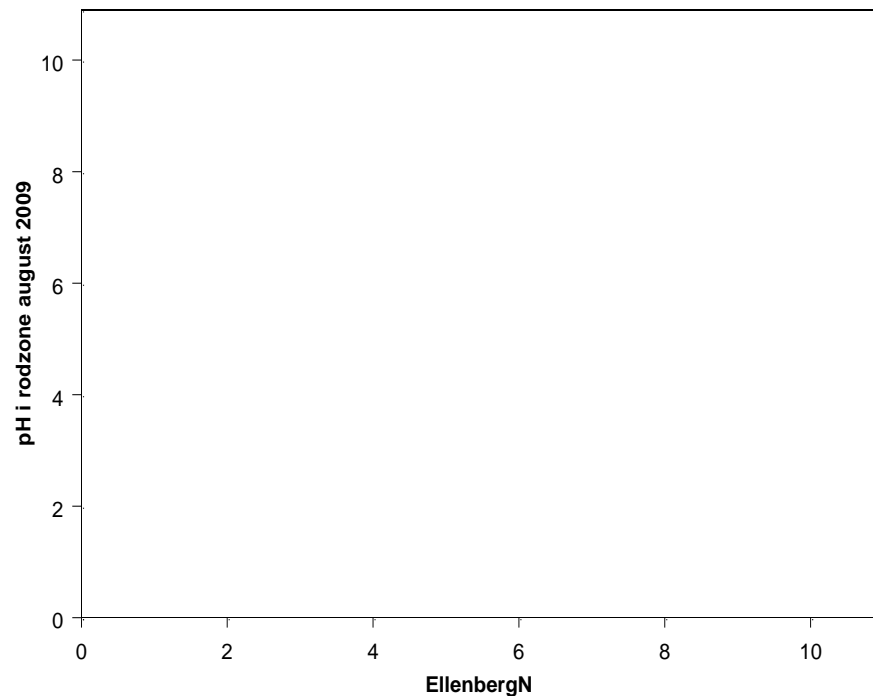
### Kobling af vandkemi og biologisk tilstand af rigkær

Formålet med de vandkemiske undersøgelser var at undersøge om indholdet af næringsstoffer i vandet kunne forklare forskellene mellem velfungerende rigkær og dårlige områder uden indikatorarter, samt områder i periferien af de velfungerende rigkær. Indledningsvist undersøgte vi om den tidligere beskrevne korrelation mellem næringsratio og antallet af gode indikatorarter for velfungerende rigkær (Ejrnæs et al. 2009) også var gældende for prøvefelterne i økohydrologiprojektet. Figur 4 viser at dette er tilfældet, idet et højt antal indikatorarter kun forekommer ved en næringsratio under 0,7 samt at indikatorarterne er stærkt decimeret ved 0,8 og helt væk ved 0,9.



Figur 4. Sammenhæng mellem næringsratio og antal indikatorarter. En non-lineær regressionslinje er tilføjet til data og viser det gennemsnitlige antal arter ved en given næringsratio.

Vi forsøgte at udlægge områderne så alle var tydeligt påvirkede af en høj vandstand. I felten kunne vi imidlertid ikke kontrollere pH, og da pH er en stærk plantefordelende faktor var det interessant at sammenligne de tre forskellige områdetyper for denne faktor. Figur 5 viser at selvom der er tydelig forskel på de gode og dårlige områders værdier for Ellenberg N (afledt af vegetationen), så er pH i høj grad sammenlignelig mellem de gode rigkærsområder (GC) og de dårlige områder (B). Områderne i periferien af de gode rigkær (GP) har en tendens til en lidt lavere pH, hvilket svarer til den forventede effekt af en aftagende grundvandsudstrømning.

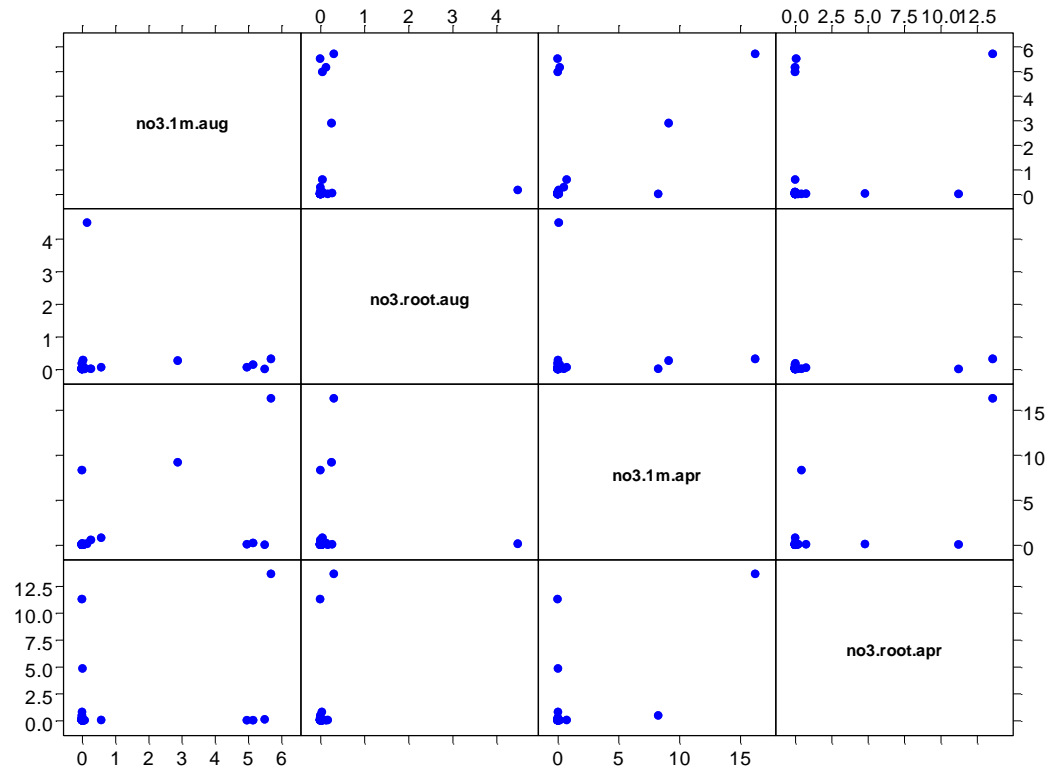


Figur 5. De undersøgte lokaliteters pH vist mod vegetationens næringsstatus udtrykt ved Ellenbergs indikatorværdi for næringsstoffer (Ellenberg N). GC = centrum af gode områder, GP = periferien af gode områder, B = dårlige områder.

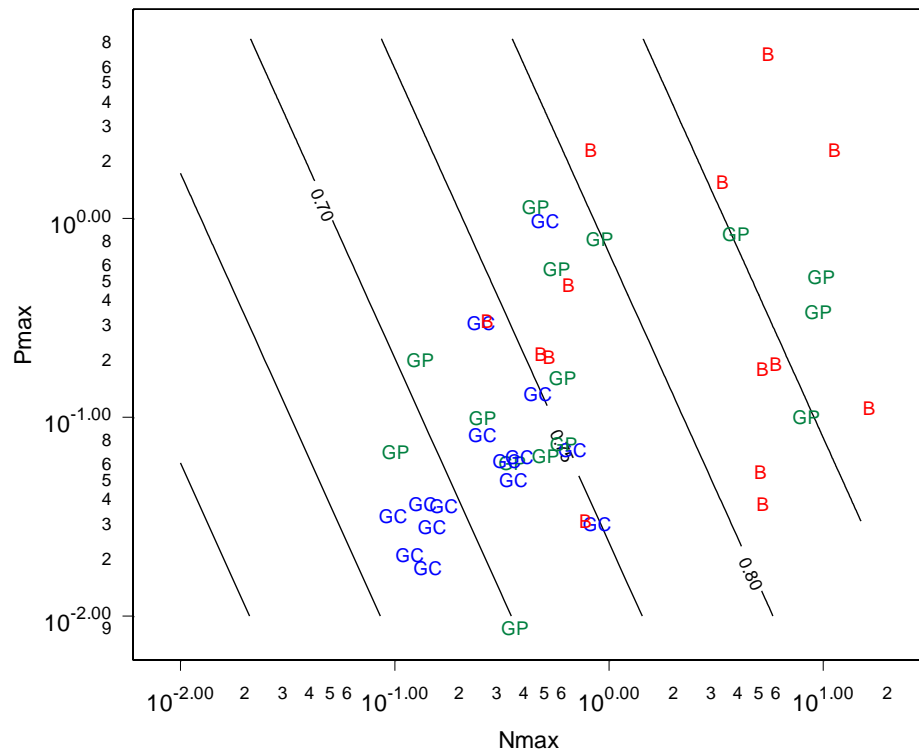
Der blev sat piezometerrør i rigkærscentrum og –periferi med filter i hhv. rodzone og 1 m under terræn. I dagene inden prøvetagning blev rørene tømt, så friskt vand kunne løbe til. Der blev udtaget vandprøver 29. april-1. maj og igen 17. – 19. august. Alle prøver blev analyseret for fosfat ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ), ammonium ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) og nitrat ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ). I august blev der desuden målt pH og ledningsevne. Analyser af sammenhænge mellem biologiske indikatorer for naturtilstand (indikatorarter, næringsratio, Ellenberg F, R, N) og målte næringsstofkoncentrationer viste at de stærkeste korrelationer blev opnået med de maksimalt målte værdier ved prøvetagningsstedet for begge dybder og tidspunkter. Dette skyldes at der er meget stor variation i næringskoncentrationerne afhængig af årstid og prøvetagningsdybde, således at en enkeltstående måling kun har en mindre sandsynlighed for at diagnosticere et næringsbelastet miljø (fig. 6).

Figur 7 viser fordelingen af prøvefelter i forhold til maksimalt målte koncentrationer af N og P og næringsratio beregnet ud fra sammensætningen af arter i prøvefeltet. Konturlinjerne i figuren viser forudsigelsen fra en multipel regressionsmodel af næringsratio som funktion af max N og max P. Der er en signifikant forskel mellem de tre områdetyper, således at de

højeste koncentrationer af næringsstoffer generelt er målt i områder med en dårlig biologisk tilstand og de laveste max-værdier i centrum af rigkærene. Periferien af rigkærsområderne har intermediære værdier, men med en stor spredning. Centrum af de gode rigkær har maximale koncentrationer under 1 mg N/liter og under 1 mg P/liter.



Figur 6. Fire prøver af nitrat-N koncentrationer plottet mod hinanden i en matrix-figur. Figuren skal læses som en tabel hvor hver af cellerne viser et plot af målte nitratværdier for de variabler som hører til i den pågældende række og kolonne. Variablerne står i diagonalen og er, startende øverst til venstre: prøve fra 1 m. dybde i august, prøve fra roodzone i august, prøve fra 1 m. dybde i april og prøve fra rodzone i april.



Figur 7 viser hvordan næringsratio afhænger af N-max og P-max (begge i mg/l PO<sub>4</sub>-P eller NO<sub>3</sub>-N/NH<sub>4</sub>-N). Konturlinjerne i figurerne stammer fra den bedste generaliserede additive model som viste sig at være næringsratio modelleret som en logaritmisk funktion af Nmax og Pmax. Konturlinjerne viser modellens forudsigtelse af effekten af N og P på vegetationens næringsratio. GP= periferi, GC=centrum og B=dårlig område.

Vi finder altså en signifikant sammenhæng mellem max N og max P og den biologiske tilstand, men også betydelig variation. Figur 7 viser den bedste fundne sammenhæng som forklarer ca. 30% af variationen i den biologiske tilstand udtrykt ved næringsratioen. Hvis vi alene analyserer for N max, som har langt den stærkeste effekt på næringsratioen, viser både modelforudsigtelsen og modellens konfidensgrænser (figur 8) at den gode tilstand (næringsratio < 0,7) findes ved N-max værdier under 0,3 mg N/liter, hvilket svarer til ca. 1,3 mg nitrat/liter. Der er dog, som man kan se på figuren, stor variation, og to rigkær med næringsratio < 0,7 har N-max op i nærheden af 1 mg N/l. Begge disse felter har dog relativt lav fosforværdier.

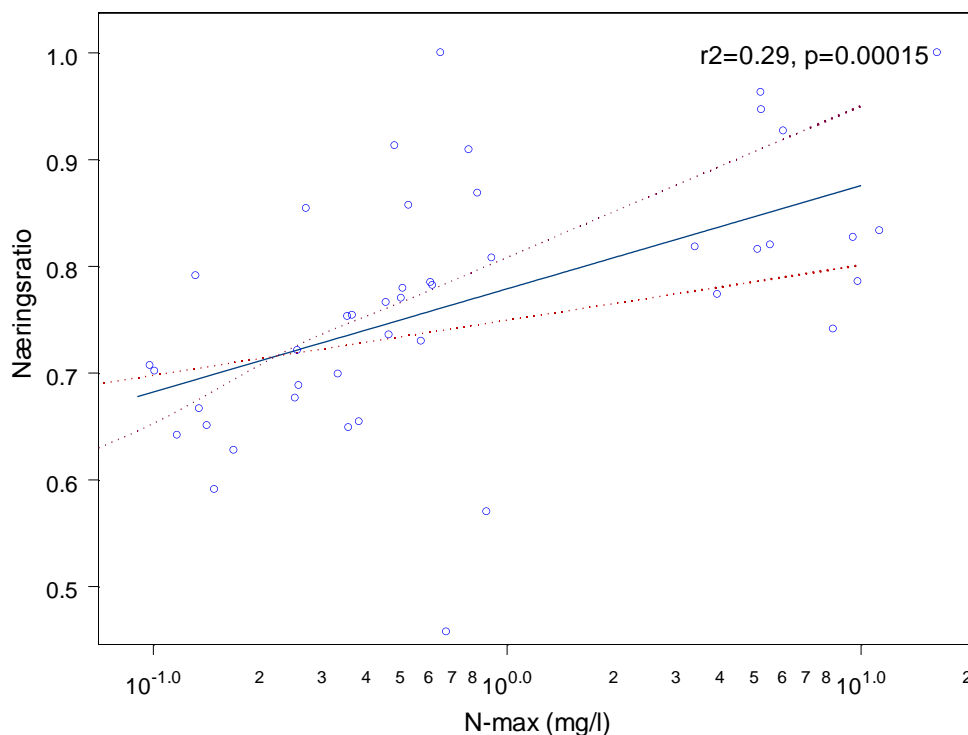


Fig 8. En model af næringsratioen som lineær funktion af logaritmen til den maximalt målte koncentration af uorganisk kvælstof i vandprøverne. Modellens forudsigelse er vist med fuldt optrukken linje, øvre og nedre 95% konfidensgrænser på model-koefficienterne er vist med stiplede linjer. De aktuelle målinger er vist på figuren.

### Kobling af grundvandsmodel og sjællandske rigkær

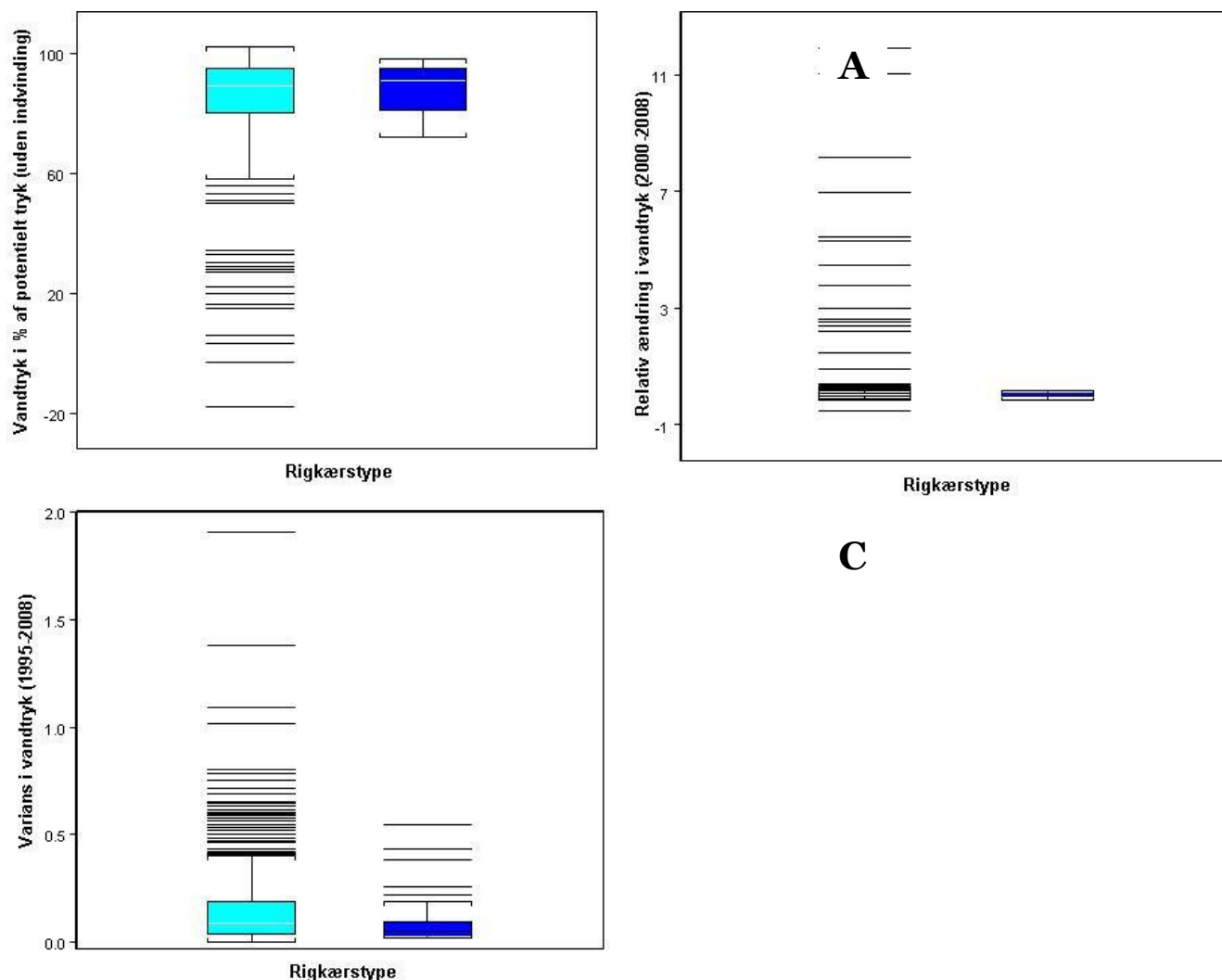
GEUS har udviklet en landsdækkende vandressource model, DK-modellen, som baseret på bl.a. boringsdata, indvindingsoplysninger og meteorologiske data kan simulere det hydrologiske kredsløb med særlig fokus på grundvandssystemet (Højberg et al. 2008). Modellen kan således simulere grundvandsniveauet i forskellige geologiske lag med en opløsning på 500 x 500 m. I dette projekt er kun arbejdet med delmodellen dækkende Sjælland, da modellen for resten af landet ikke har været færdigopdateret. Fokus i projektet har været på det dybe reducerede grundvand i kalken af tre årsager: For det første er det dette lag hvorfra størstedelen af vandindvindingen finder sted, og derfor også her man kunne forvente at se en effekt af vandindvindingen. For det andet er det også de dybe grundvandsmagasiner som DK-model Sjælland bedst kan beskrive. For det tredje er rigkærene afhængige af tilstrømning af baserigt, næringsfattigt og reduceret grundvand fra de dybe kalkmagasiner. Simulerede trykniveaudata for hver 30. dag for perioden 1995-2008 er anvendt for både en situation hvor indvindingerne er aktive og en hvor alle indvindinger er fjernet.

Det blev undersøgt, om grundvandsniveauet i 500 x 500 m cellerne på nogen måde co-varierede med forekomsten og tilstanden af de sjællandske



rigkær, men, ikke overraskende, viste der sig ikke at kunne påvises nogle sammenhænge. Modellens opløsning er antageligt for lille til en sådan analyse. En lokal modellering af grundvandstryk med inddragelse af topografi har ikke været muligt at foretage i projektet.

Dernæst undersøgte vi om der var en sammenhæng mellem ændringer i grundvandsniveauet som følge af vandindvinding og forekomsten og tilstanden af de sjællandske rigkær. Dette gjorde vi ved at beregne den procentvise grundvandssænkning som følge af vandindvinding i 500 x 500 m cellerne samt beregne ændringer i grundvandsstanden gennem de seneste 8 år udtrykt som den relative trykændring fra 2000 til 2008. Vi undersøgte om der var forskel på rigkær i optimal tilstand (naturtype enten rigkær, hængesæk eller tidvist våd eng, Ellenberg R > 5, næringsratio < 0,7 og > 5 indikatorarter for rigkær) og øvrige rigkær (samme naturtyper og Ellenberg R kriterium).



Figur 9. Tre box-plots som viser fordelingen af prøvefelter fra gode rigkær (højre, turkis box) og øvrige rigkær (venstre, mørkeblå box). De blå bokse viser placeringen af den midterste halvdel af datapunkterne, medianværdien vises med hvid stribe, stigerne viser 1,5 x øvre og nedre kvartil og linjerne viser ekstreme værdier udenfor dette interval. Delfigurerne viser: A) det gennemsnitlige vandtryk i 2008 i procent af vandtrykket uden vandindvinding ( $p=0,9$ ), B) den relative ændring af vandtrykket i perioden 2000-2008 ( $p=0,09$ ) og C) variansen i det månedlige vandtryk for perioden 1995-2008 ( $p<0,001$ ). Alle tests = Wilcoxon rank sum test.

Analysen viste at de gode rigkær generelt forekommer i områder hvor vandindvindingen har en mindre effekt (fig. 9A), hvor vandtrykket har været stabilt i perioden 2000-2008 (fig. 9B) samt hvor vandtrykket varierer mindre fra måned til måned (fig. 9C). Det var dog kun forskellen i variansen af vandtrykket som var signifikant.



### **Ændringer i rigkærenes biologiske tilstand 2004-2009**

Vi har anvendt data fra naturtypeovervågningen i NOVANA til at undersøge om vi kan observere ændringer i rigkærenes tilstand i Danmark gennem denne 6-årige periode. Vi har filtreret data på følgende måde:

- 1) Kun prøvefelter som er overvåget minimum 3 år i perioden 2004-2009 er medtaget
- 2) Kun prøvefelter med gennemsnitlig Ellenberg R > 5 er medtaget (kalkpåvirkning)
- 3) Kun prøvefelter hvor 75% af gentagelserne mellem årene er klassificeret til en potentielt grundvandspåvirket mosetype i mosemodellen er medtaget. Som grundvandspåvirkede mosetyper er medtaget fattigkær, tidvis våd eng (6410), hængesæk (7140), avneknippemose (7210), rigkær (7230) som opfylder ovenstående kriterier.
- 4) To prøvefelter med overvægt af fattigkær blev sorteret fra analysen.

De tilbageværende "grundvandspåvirkede" naturtyper blev dernæst ind delt i 3 kategorier: Fine, medium og ringe. "Fine" er prøvefelter med gennemsnitlig næringsratio som ikke overstiger 0,7 og gennemsnitlig antal indikatorarter > 5. "Ringe" er prøvefelter med gennemsnitlig næringsratio > 0,8. "Medium" er resten.

Vi undersøgte om der var signifikante ændringer i rigkærenes Ellenberg-gennemsnit for næringsstatus (N) og fugtighed (F). Dette blev undersøgt for både alle rigkærene og særskilt for hver af de tre kategorier af rigkær. De bedste modeller over ændringerne gennem årene inkluderede autokorrelation og der var ikke signifikante ændringer i overvågningsperioden for nogle af rigkærsgrupperne. Der var dog en tendens til at de bedste rigkær har stigende Ellenberg N-gennemsnit gennem den 5-årige periode (fig. 10), hvilket kunne tyde på at der sker en eutrofiering via ændringer i grundvandets mængde eller kemiske sammensætning.

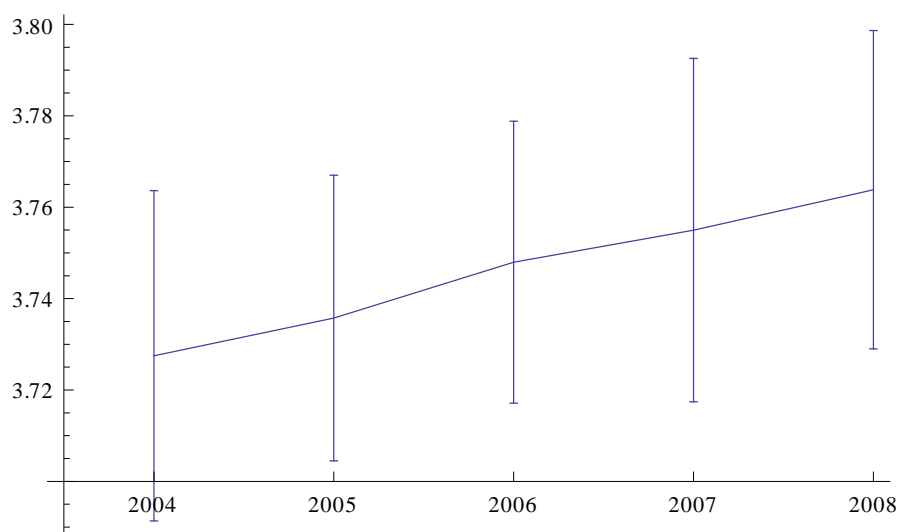


Fig 10. *Udviklingen i Ellenberg N gennem overvågningsperioden for de "fine" rigkær med en vegetation som indikerer en god tilstand. Linjen går gennem middelværdierne for årene og stolperne viser 95%-konfidensgrænserne på middelværdierne.*

## Sammenfatning

Økohydrologi-projektet har for første gang i NOVANA's levetid bragt hydrologer, terrestriske økologer, ferskvandsbiologer og grundvandseksperter sammen i studiet af de grundvandsbetingede terrestriske økosystemer. Projektets formål var at undersøge ubeskrevne koblinger mellem data fra NOVANA's delprogrammer for grundvand, overfladevand og terrestrisk natur samt at foretage en supplerende dataindsamling til at belyse de hydrologiske og vandkemiske forudsætninger for en god økologisk og biologisk tilstand af de grundvandsafhængige terrestriske økosystemer. På denne baggrund skulle projektet komme med anbefalinger til revisionen af NOVANA.

Projektet har fokuseret på naturtypen rigkær, som kan defineres som stærkt næringsbegrænset, men artsrig, terrestrisk vegetation domineret af mosser, halvgræsser og bredbladede urter og betinget af en stadig gennemstrømning af kalkrigt og næringsfattigt grundvand. Endvidere er rigkær i større eller mindre grad afhængige af tilbagevendende forstyrrelser i form af græsning eller høslæt for ikke at gro til med pil og el. Naturtypen har en ekstremt begrænset udbredelse i dag som følge af afvanding og næringsforurening samt ophørt græsning og høslæt og den rummer mange sjældne arter af planter, mosser og invertebrater.

Koblingen og analyserne af eksisterende data fra de forskellige delprogrammer i NOVANA har ført til

- 1) Udviklingen af modeller til klassificering og tilstandsvurdering af rigkær ud fra deres vegetation. Disse modeller egner sig til hurtig og omkostningseffektiv screening af store datasæt, udvælgelse af områder til overvågning og analyse og vurdering af tilstand og følsomhed over for påvirkninger udefra (fx tabel 2+3+5, fig. 4).
- 2) Demonstration af rigkærenes følsomhed overfor afvanding i oplandet gennem GIS-analyser og analyser af DK-modellen og kvaliteten af de sjællandske rigkær (tabel 4).
- 3) Demonstration af rigkærenes afhængighed af en konstant tilførsel af grundvand som kan opretholde en stabil vandstand i hovedparten af året (fig. 3+9 ).

Endvidere har den supplerende dataindsamling i projektet og analyserne af disse data vist at:

- 1) Der er en signifikant sammenhæng mellem vegetationen i rigkærene og vandprøvernes indhold af uorganisk kvælstof og fosfor (fig. 7+8).
- 2) Der er store variationer i næringsstofmålingerne afhængig af dybden og årstiden (fig. 6).
- 3) De bedste af de undersøgte rigkær forekommer ved et maksimalt nitrat-N-indhold  $< 0,3$  mg/l ( $1,3$  mg  $\text{NO}_3/\text{l}$ ), hvilket ligger langt under de eksisterende grænseværdier for nitrat i drikkevand ( $50$  mg  $\text{NO}_3/\text{l}$ ) (fig. 7+8).

### **Anbefalinger til overvågning**

Der er et betydeligt efterslæb i vores forståelse af de grundvandsafhængige terrestriske økosystemer, fordi de i store træk har været ignoreret i beskrivelsen af vandets og næringsstofferne kredsløb i Danmark, hvor fokus har været på transporten af stoffer til overfladevandsrecipienter. Selvom vi kan lære meget ved at studere udenlandske forskningsresultater og udredninger, vil det være nødvendigt at opbygge en dansk kompetence også hvis vi vil opfylde direktivernes forpligtelser om beskyttelse og målrettet forvaltning af de grundvandsafhængige terrestriske økosystemer.

På baggrund af resultaterne i økohydrologiprojektet anbefales det at overveje følgende i forbindelse med revisionen og udarbejdelsen af nye tekniske anvisninger til næste periode af det nationale overvågningsprogram NOVANA:

Omkring planlægningen af økohydrologiske overvågningsstationer:

- 1) At sikre synergien mellem delprogrammerne ved at etablere fælles overvågningsstationer for terrestriske grundvandsafhængige økosystemer hvor der indsamles sammenhørende data om biologi, hydrologi og vandkemi.
- 2) At udnytte en kombination af intensive stationer med detaljeret kortlægning og overvågning af hydrologi, vandkemi og stofkredsløb og ekstensive stationer med overvågning af udvalgte nøgleindikatorer til at sikre en balance mellem økosystemforståelse og repræsentativitet.

Omkring udvælgelse af økohydrologiske overvågningsstationer:

- 3) At fokusere første fase af overvågningen på rigkær (habitattype 7230), med inddragelse af kildevæld (7220), tidvis våde enge (6410) og hængesæk (7140), hvor der forekommer tydeligt grundvandspåvirket vegetation.
- 4) At udnytte vegetationsdata fra NOVANA-overvågning 2004-2009 til stratificeret udvælgelse af egnede overvågningsstationer.
- 5) At placere målepunkter sammen med eksisterende prøvefelter på overvågningsstationer i det terrestriske delprogram som er gennemført i 2004-2009 for at kunne koble status og udvikling i naturens tilstand til de hydrologiske og vandkemiske betingelser.

Omkring parameterudvælgelse:

- 6) At udnytte følgende parametre i den ekstensive overvågning: vandstandsloggere, indhold af nitrat, ammonium, fosfat og pH i rodzonen, N og P-koncentrationer i løv af udvalgte arter, sammensætningen af karplanter, bladmosser og tørvemosser.
- 7) At udnytte følgende parametre i den intensive overvågning: Parametre fra den ekstensive overvågning suppleret med Mg, Fe, Ca, S, anvendt på forskellige hydrologiske fraktioner: a) grundvand inden det passerer gennem tørv, b) grundvand i udstrømningszonen i tørv, c) grundvand nedstrøms udstrømningszonen, d) overfladevand fra vandløb/sø, e) overfladevand fra dræn. Desuden bør der foregå en kortlægning af det hydrologiske kredsløb og dets kilder på stationen og en aldersdatering af grundvandet.

## Litteratur

- Boomer, K.M.B. & B.L. Bedford 2008a. Influence of nested groundwater systems on reduction–oxidation and alkalinity gradients with implications for plant nutrient availability in four New York fens. *Journal of hydrology* 351: 107-125.
- Boomer, K.M.B. & B.L. Bedford 2008b. Groundwater-induced redox- radients control soil properties and phosphorus availability across four headwater wetlands, New York, USA. *Biogeochemistry* 90: 259-274.
- Ejrnæs, R, Nygaard, B, Fredshavn, JR, Nielsen, KE & Damgaard, C. 2009, *Terrestriske Naturtyper 2007: NOVANA, Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet (Faglig rapport fra DMU; 712).*
- Goldberg, C., B. Moeslund, J. Fredshavn, R. Ejrnæs, T. B. Jørgensen. Synergi mellem Vandrammedirektivet og Habitatdirektivet: II - Analyse af udvalgte terrestriske og de 5 danske sø-naturtyper med henblik på muligheden for at formulere et system til bedømmelse af naturtilstanden. Notat til By og Landskabsstyrelsen.
- Grootjans, A.P., E.B. Adema, W. Bleuten, H. Joosten, M. Madaras & M. Janáková 2006. Hydrological landscape settings of base-rich fen mires and fen meadows: an overview. *Applied Vegetation Science* 9: 175-184.
- Højberg AL, Trolborg L, Nyegaard P, Ondracek M, Stisen S, Christensen BSB & Nørgaard A (2008). National Vandressource Model: Sjælland, Lolland, Falster og Møn - Opdatering januar 2008. GEUS rapport 2008/65, København.
- Janssen, C.R. 1972. The palaeoecology of plant communities in the Dommel valley, North Brabant, The Netherlands. *J. Ecol.* 60: 411-437.
- Joosten, H. & Clarke, D. 2002. Wise use of peatlands. International Mire Conservation Group, International Peat Society, Jyväskylä, FI.
- Kooijman, A. M., M. P. C. P. Paulissen 2006. Higher acidification rates in fens with phosphorus enrichment. *Applied Vegetation Science* 9: 205-212.
- Lamers L.P.M., R. Loeb, A.M. Antheunisse, M. Miletto, E.C.H.E.T. Lucassen, A.W. Boxman, A.J.P. Smolders & J.G.M. Roelofs 2006. Biogeochemical constraints on the ecological rehabilitation of wetland vegetation in river floodplains. *Hydrobiologia* 565: 165-186.
- Lamers, L.P.M., Dolle, G.E.T., Berg, S.T.G.V.D., Delft, S.P.J.V., Roelofs, J.G.M., 2001. Differential responses of freshwater wetland soils to sulfate pollution. *Biogeochemistry* 55 (1), 87– 102.
- Lamers, L.P.M., Tomassen, H.B.M., Roelofs, J.G.M., 1998. Sulfate induced eutrophication and phytotoxicity in freshwater wetlands. *Environmental Science & Technology* 32 (2), 199–205.
- Lewan L., Kreuger J & Jarvis N., 2009. Implications of precipitation patterns and antecedent soil water content for leaching of pesticides from arable land. *Agricultural Water Management*, 96, 1633–1640
- Mälson, K., I. Backéus & H. Rydin 2008. Long-term effects of drainage and initial effects of hydrological restoration on rich fen vegetation. *Applied Vegetation Science* 11: 99-106.





- Nygaard, B., Ejrnæs, R., Baattrup-Pedersen, A., Fredshavn, J.R. 2009, Danske plantesamfund i moser og enge - vegetation, økologi, sårbarhed og beskyttelse. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet (Faglig rapport fra DMU; 728).
- Søgaard, B., Skov, F., Ejrnæs, R., Nielsen, K.E., Pihl, S., Clausen, P., Laursen, K., Bregnballe, T., Madsen, J., Baattrup-Pedersen, A., Søndergaard, M., Lauridsen, T.L., Møller, P.F., Riis-Nielsen, T., Buttenschøn, R.M., Fredshavn, J., Aude, E. & Nygaard, B. 2003: Kriterier for gunstig bevaringsstatus. Naturtyper og arter omfattet af EF-habitatdirektivet & fugle omfattet af EF-fuglebeskyttelsesdirektivet. 2. udgave. Danmarks Miljøundersøgelser. 462 s. – Faglig rapport fra DMU, nr. 457.  
<http://faglige-rapporter.dmu.dk>.
- van der Welle, M.E.W., J. G.M. Roelofs & L. P.M. Lamers 2008. Multi-level effects of sulphur–iron interactions in freshwater wetlands in The Netherlands. *Science of the total environment* 406: 426-429.
- Wassen, M. J., H. Olde Venterink, E. D. Lapshina & F. Tanneberger, 2005. Endangered plants persist under phosphorus limitation. *Nature* 437: 547–550.

## Aktiviteter og artikler i projektets løb

Side 30/30

**Opstartsmøde.** Projektmøde september 2007.

**Projektekskursion** til Nordjylland. November 2008.

**Midtvejsmøde** med GEUS om dataklargøring og analyser. August 2009.

**Afsluttende workshop** i projektet. November 2009.

### Øvrige aktiviteter og produkter

Ejrnæs, R. Klassifikation af moser og enge. Indlæg på NOVANA-Fagmøde 2008, Ebeltoft, DK, 27.2.2008.

Ejrnæs, R. Næringsstofferne indvirkning på miljø og natur. Indlæg på kursus i miljøgodkendelse for nyansatte miljørådgivere, Dansk Landsbrugsrådgivning, 22.10.2008.

Ejrnæs R. Næringsstoffer, græsning og natur. Indlæg på diplomuddannelse i arealforvaltning, Dansk Landbrugsrådgivning 3.2.2009.

Ejrnæs R. Gradienter og biologisk mangfoldighed. Indlæg på kursus for kommunale sagsbehandlere i beskyttede naturtyper, 4.6.2009.

Ejrnæs R. Kursus i naturbesigtigelse for kommuner. Kortlægning og tilstandsvurdering af lysåbne naturtyper 12.5.2009-13.5.2009.

Ejrnæs, R., Nygaard, B. 2009, "Grundvand og terrestriske økosystemer", fremlagt ved Grundvand/overfladevand - interaktion 2009, ATV, Gentofte, 27.1.2009 - 27.1.2009. Konferenceartikel

Nygaard, B., Ejrnæs, R., Baattrup-Pedersen, A. 2008, "Danske moser og enge - naturtilstand og sårbarhed". Foredrag ved Ferskvandssymposium, Biologisk Institut, Aarhus Universitet, 23.1.2008 - 24.1.2008. Foredragsmanuskript/PowerPoint

Nygaard, B., Ejrnæs, R., Baattrup-Pedersen, A. 2008, "Habitats Directive classification of Danish wetlands". Poster ved Ferskvandssymposium, Department of Biological Sciences, University of Aarhus, 23.1.2008 - 24.1.2008.

Goldberg, C., Moeslund, B., Fredshavn, J.R., Ejrnæs, R., Jørgensen, T.B. Synergi mellem Vandrammedirektivet og Habitatdirektivet II. Analyse af udvalgte terrestriske og de 5 danske sø-naturtyper med henblik på muligheden for at formulere et system til bedømmelse af naturtilstanden. 2008, Bidrag til faglig redegørelse.

Nygaard, B., Ejrnæs, R., Baattrup-Pedersen, A., Fredshavn, J.R. 2009, Danske plantesamfund i moser og enge - vegetation, økologi, sårbarhed og beskyttelse. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet (Faglig rapport fra DMU; 728).

Nygaard, B., Ejrnæs, R., Baattrup-Pedersen, A. 2009, "Vurdering af naturværdier i moser og enge", Vand og Jord, vol. 16 nr. 2, s. 78-80. Tidsskriftsartikel.

Endvidere har projektet haft et tæt samarbejde om vejledning og synergier mellem tre igangsatte phd-projekter ved

Dagmar Kappel Andersen (AU, DMU, VIBI)

John Bøhme Dybkjær (AU, DMU, FEVØ)

Ole Munch Johansen (AAU).